

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2000-279000

(43)Date of publication of application : 06.10.2000

(51)Int.Cl.

H02P 21/00
B62D 5/04

(21)Application number : 11-077305

(71)Applicant : TOYODA MACH WORKS LTD

(22)Date of filing : 23.03.1999

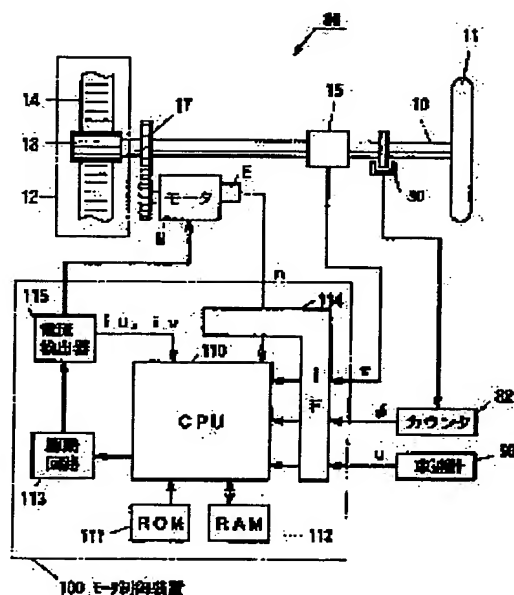
(72)Inventor : SAKUGI YASUNORI
SHIBATA YOSHIYUKI

(54) MOTOR-DRIVING DEVICE

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To increase a motor speed at a low command torque by correcting a specific value so that a d-axis current weakens the field of the motor while a command torque is zero and correcting the specific value so that the field reaches zero when the command torque increases from zero.

SOLUTION: A motor-controlling device 100 inputs a steering torque t , a steering angle ϕ , and a vehicle speed (u) that is detected by a vehicle speedometer 50 to a CPU 110 via an input interface 114, and obtains a command torque t^* from the input value according to a specific torque calculation, thus determining current command values i_d^* and i_q^* of (d) and (q) axes for performing the vector control of a motor M. Then, while the command torque t^* is small, a command current i_d after correction that is a field current component is set to a specific value for weakening the field of the motor for weakening the field of the motor, control for weakening the field is gradually cancelled as steering becomes required, and a command current i_d after correction of a field current component is set to zero, thus increasing the speed of the motor while the command torque is small.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 27.09.2002

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 3624737

[Date of registration] 10.12.2004

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

BEST AVAILABLE COPY

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号
特開2000-279000
(P2000-279000A)

(43) 公開日 平成12年10月6日 (2000. 10. 6)

(51) Int. Cl. ⁷	識別記号	F I	テマコード (参考)
H 0 2 P 21/00		H 0 2 P 5/408	A 3 D 0 3 3
B 6 2 D 5/04		B 6 2 D 5/04	5 H 5 7 6

審査請求 未請求 請求項の数 3 O L (全 9 頁)

(21) 出願番号 特願平11-77305
(22) 出願日 平成11年3月23日 (1999. 3. 23)

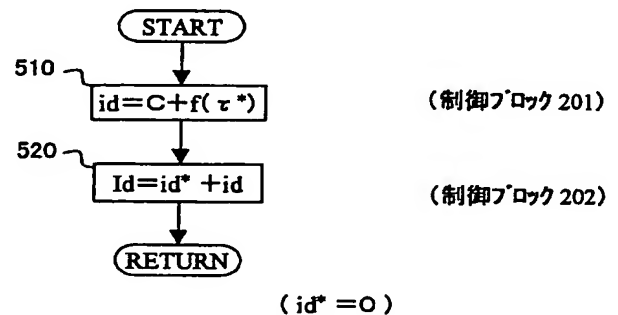
(71) 出願人 000003470
豊田工機株式会社
愛知県刈谷市朝日町1丁目1番地
(72) 発明者 榎木 康彦
愛知県刈谷市朝日町1丁目1番地 豊田工
機株式会社内
(72) 発明者 柴田 由之
愛知県刈谷市朝日町1丁目1番地 豊田工
機株式会社内
Fターム (参考) 3D033 CA03 CA16 CA17 CA20 CA21
5H576 AA15 BB09 DD02 DD07 EE01
EE11 EE18 GG04 HB01 JJ03
JJ17 JJ24 KK06 LL22 LL38
LL41 LL42 PP01

(54) 【発明の名称】 モータ制御装置

(57) 【要約】

【課題】 モータを大型化することなく、指定トルクが小さい領域におけるモータの回転数を高くできるモータ制御装置を提供する。

【解決手段】 d軸電流補正処理では、まず最初に、ステップ510により、d軸の補正電流 i_d の値を式「 $i_d = C + f(\tau^*)$ 」に従って決定する。ただし、Cは所定値、 $f(\tau^*)$ は指令トルク τ^* に応じたd軸補正電流 i_d を求める関数である。ステップ520では、式「 $I_d = i_d^* + i_d$ 」に従って指令トルク τ^* に応じた補正後の指令電流 I_d を決定する。これにより、指令トルク τ^* がゼロの状態、d軸電流 (界磁電流成分) が所定値Cとなるように制御できるため、特に、指令トルク τ^* が小さい領域Eにおけるモータの界磁を弱めることが可能となり、この指令トルク τ^* が小さい領域Eにおけるモータの回転数を高めることができる。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 界磁電流の方向を d 軸方向に、この d 軸と直交する方向を q 軸方向にもつ二相回転磁束座標系で記述され得るベクトル制御により、指令トルクに応じたモータの制御を行なうモータ制御装置において、前記指令トルクがゼロの状態におけるモータの電機子電流の d 軸成分である d 軸電流がモータの界磁を弱めるような所定値となるように補正する d 軸電流補正手段と、前記指令トルクがゼロの状態から増加する場合には、前記 d 軸電流がゼロになるように前記所定値を補正する所定値補正手段とを備えていることを特徴とするモータ制御装置。

【請求項 2】 前記所定値補正手段は、前記指令トルクがゼロの状態から増加するに従って、前記所定値を徐変させる徐変手段を備えていることを特徴とする請求項 1 に記載のモータ制御装置。

【請求項 3】 前記 d 軸電流補正手段は、前記指令トルクが所定トルクを超えた後は、前記 d 軸電流をゼロにする補正解除手段を備えていることを特徴とする請求項 1 または 2 に記載のモータ制御装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、二相回転磁束座標系（d q 座標系）で記述され得るベクトル制御により、指令トルクに応じたモータの制御を行うモータ制御装置に関し、特に、指令トルクが低い状態におけるモータの回転数を増加させ、モータの応答性を向上させるものに関する。

【0002】

【従来の技術】二相回転磁束座標系（d q 座標系）で記述され得るベクトル制御により、指令トルクに応じたモータの制御を行うモータ制御装置の例として、電気モータ（以下、単にモータという）により操舵をアシストする電動パワーステアリング装置がある。このような電動パワーステアリング装置は、ハンドルに加わる操舵トルクをトルクセンサにより検出し、この検出した操舵トルクに応じたアシストトルクとなるようにモータをベクトル制御することにより、操舵のアシストを行なうようになっている。

【0003】このベクトル制御は図略のモータ制御装置により行われ、このモータ制御装置は、トルクセンサの検出値に基づく指令トルクの演算、モータの各相（例えば、u、v 相）の電流検出（例えば、u、v 相の各電流検出値 i_u 、 i_v ）、電流の d q 変換、電流偏差演算、指令電圧値演算、d q 逆変換、PWM 制御パターン出力の各演算を行なうようになっている。通常、目標値及びフィードバック値の偏差演算を CPU で行ない、その偏差に応じた指令値に応じて制御量を制御している。このようなモータ制御装置は、一般に、位置、速度及び電流のフィードバックループを備えている。このようなフィー

ドバックループのうち電流フィードバックループにおいては、電流はカレントトランスフォーマ（CT）で検出され、その出力はアナログ増幅器で増幅され、その増幅器の出力が所定の周期でサンプリングされる。そして、検出された各相の電流が d q 変換され、その d 軸成分と q 軸成分とが、各軸の目標値に等しくなるように制御されている。負荷電流の d 軸成分は無効電流を意味し、負荷電流の q 軸成分はモータが同期モータであり励磁磁界の大きさが一定である場合には、モータのトルクに比例する。従って、電流のフィードバック制御は、同期モータの場合には、検出された負荷電流の d 軸成分が零となり、q 軸成分が出力トルクの目標値に等しくなるように制御される。

【0004】一般に、このような電動パワーステアリングに用いるモータの特性は図 7 に示すようになっており、モータトルク τ とモータ回転数 N との関係は実線 a で示すように、モータトルク τ が大きくなるに従ってモータの回転数 N が低くなるような特性になっている。また、モータトルク τ とモータ電流 I との関係は実線 b で示すように、モータトルク τ が大きくなるに従ってモータ電流 I が大きくなるようになっている。この図 7 に示すモータの場合、定格電流は I1 となっている。このようにモータには、上述したような特性があるため、特に、電動パワーステアリングに用いるモータの場合、車両の特性、車両重量などに応じて車種毎に、最適なモータを選択する必要がある。例えば、モータトルク τ とモータ回転数 N との関係が図 7 中実線 a、モータトルク τ とモータ電流 I との関係が実線 b で示す特性のモータを用いると、ハンドルを中立状態から素早く操舵した時、ハンドルの切り始めに引っ掛かったような操舵感覚、いわゆる「引っ掛かり感」が生じてしまったとする。これはモータトルク τ が小さい状態のときのモータの回転数 N が低いことが原因となっている。このような場合には、モータトルク τ が小さい状態のときのモータの回転数 N が高いモータに変更する必要がある。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、このようなモータトルク τ が小さい状態のときのモータの回転数 N が高いモータを使用すると、図 7 中点線 a' で示すように、モータトルク τ が小さい状態のときに、高回転 N2 (>N1) が得られるものの、モータトルク τ とモータ電流 I との関係が点線 b' で示すようになり、モータの定格電流が I2 (>I1) となってしまう。結局、消費電力の大きい大型のモータが必要となってしまう。このため、限られたスペースに設置する電動パワーステアリング装置においては、モータの消費電力を低く抑さえこと、モータを小型化することが重要となる。

【0006】本発明は、上記の課題を解決するために成

されたものであり、その目的は、モータを大型化することなく、低い指令トルクにおけるモータ回転数を高くできるモータ制御装置を提供することである。

【0007】

【課題を解決するための手段】上記の課題を解決するための発明の構成は、界磁電流の方向をd軸方向に、このd軸と直交する方向をq軸方向にもつ二相回転磁束座標系で記述され得るベクトル制御により、指令トルクに応じたモータの制御を行なうモータ制御装置において、前記指令トルクがゼロの状態におけるモータの電機子電流のd軸成分であるd軸電流がモータの界磁を弱めるような所定値となるように補正するd軸電流補正手段と、前記指令トルクがゼロの状態から増加する場合、前記d軸電流がゼロになるように前記所定値を補正する所定値補正手段とを備えていることを特徴とするものである。すなわち、この構成により、通常、指令トルクがゼロの状態ではd軸電流がゼロであるが、モータの界磁を弱めるようにd軸電流を所定値にできる。この状態で、指令トルクがゼロの状態から増加する場合、d軸電流がゼロになるように、所定値が補正され、モータの界磁を弱める制御が解除される。

【0008】また、前記所定値補正手段は、前記指令トルクがゼロの状態から増加するに従って、前記所定値を徐変させる徐変手段を備えていることを特徴とするものである。すなわち、この構成により、所定値が徐変されるので、モータの界磁を弱める制御が徐々に解除される。

【0009】また、前記d軸電流補正手段は、前記指令トルクが所定トルクを超えた後は、前記d軸電流をゼロにする補正解除手段を備えていることを特徴とするものである。すなわち、この構成により、指令トルクが所定トルクを超えた後は、直ちに、d軸電流がゼロとなり、モータの界磁を弱める制御が解除される。

【0010】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施形態を図面に基いて説明する。図1に、本発明の第1の実施形態における電動パワーステアリング装置80のハードウェア構成図を示す。ステアリングシャフト10の一端には、ハンドル11が取り付けられ、他端にはギヤボックス12に軸承されたピニオン軸13が結合されている。ピニオン軸13は、ギヤボックス12に嵌装されたラック軸14に嚙合され、このラック軸14の両端は図示していないが、ボールジョイント等を介して操向車輪に連結されている。また、ステアリングシャフト10には、アシストトルクを発生するブラシレス直流モータMが、歯車17を介して連結されている。この直流モータMには、駆動回路113より電流検出器115を介して3相より*

$$\tau^* = G(\tau, u, \phi, d\phi/dt)$$

ただし、ここでGは、所定のトルク計算を実行する関数である。

*成るモータ駆動電流 i_u , i_v , i_w が供給されている。

【0011】更に、ステアリングシャフト10には、運転者からハンドル11に加えられたマニュアル操舵力の大きさ及びその方向（操舵トルク τ ）を検出するためのトルク検出器15及び、ステアリングシャフト10の操舵角 ϕ を検出するフォトインタラプタ30が設けられている。フォトインタラプタ30の出力はカウンタ32に入力され、操舵角 ϕ に変換されて出力される。この操舵角 ϕ は、入力インターフェイス（IF）114を介してCPU110に入力され、CPU110の演算により操舵角速度（ $d\phi/dt$ ）が検出される。

【0012】モータMには、モータMの回転角を検出する回転角センサ（エンコーダ）Eが設けられており、CPU110は、回転角センサEが出力するモータMの所定微小回転角の回転数 n を入力することにより、モータMの回転角 θ を検出する。即ち、この回転数 n は、モータMが所定方向に回転した際には増加し、その逆方向に回転した際には減少する。

【0013】モータ制御装置100は、前記のCPU110、ROM111、RAM112、駆動回路113、入力インターフェイス（IF）114、電流検出器115等から構成されている。駆動回路113は、チョップ制御等により駆動電流を正弦波にしてモータMに電力を供給する。モータ制御装置100は、上記の操舵トルク τ 、操舵角 ϕ 及び、車速計50により検出される車両速度 u を入力インターフェイス（IF）114を介してCPU110に入力し、これらの入力値から所定のトルク計算により指令トルク τ^* を求め、モータMをベクトル制御するためのd軸とq軸の各電流指令値（ i_d^* , i_q^* ）を決定する。

【0014】本第1実施例におけるモータ制御装置100の制御ブロック・ダイアグラムを図2に、ベクトル制御処理のゼネラル・フローチャートを図3にそれぞれ示す。図3は、図2の制御ブロック・ダイアグラムの内のソフトウェアによって構成されている範囲の各制御ブロックの動作等をその制御処理の実行順序に従って記載したものである。

【0015】このベクトル制御処理（図3）では、まず最初に、ステップ405により初期設定及び初期診断等の初期処理を実行する。次にステップ410では、モータMの駆動制御に必要な物理量の入力を行う。この物理量とは、操舵トルク τ 、操舵角 ϕ 、車両速度 u 、モータ駆動電流の検出値 i_u , i_v 、モータMの所定微小回転角の回転数 n 等である。ステップ415では、次式

（1）に従って、モータMに指令する指令トルク τ^* を算出する。

$$\dots (1)$$

【0016】ステップ420では、図2の制御ブロック207に相当するトルク電流変換を次式（2）に従って

実行する。

$$i_{q^*} = h(\tau^*)$$

ただし、ここで h は、所定のトルク電流変換を実行する関数である。

【0017】ステップ425では、図2の制御ブロック205に相当する dq 変換を実行する。これにより、 d 軸及び q 軸の測定電流（フィード・バック電流） i_{df} 、 i_{qf} が得られる。ステップ430では、図2の制御ブロック201、202、即ち、後述の d 軸電流補正 *

$$\Delta I_d = I_d - i_{df},$$

$$\Delta I_q = i_{q^*} - i_{qf}$$

ただし、ここで、 ΔI_d 、 I_d はそれぞれ d 軸の電流偏差及び、ステップ430による d 軸補正電流 i_d による補正後の指令電流である。 ΔI_q 、 i_{q^*} はそれぞれ q 軸の電流偏差及び q 軸の電流指令値である。

【0019】ステップ440では、図2の PI 制御ブロックに相当する所定の PI 制御を実行する。ステップ445では、図2の制御ブロック206に相当する dq 逆変換を実行する。これにより、 d 軸及び q 軸の各指令電圧 V_{d^*} 、 V_{q^*} が、 U 、 V 、 W の各相に対する指令電圧 V_u 、 V_v 、 V_w にそれぞれ変換される。ステップ450では、 PWM 信号を駆動回路113に対して出力する。

【0020】ステップ455では、モータ M の駆動（ベ※

$$i_d = C + f(\tau^*)$$

ただし、ここで、 C はモータ M の界磁を弱めることができる所定値、 $f(\tau^*)$ は指令トルク τ^* に応じた d 軸の補正電流を求める関数である。なお、 $C < 0$ 、 $f(\tau^*) \geq 0$ である。★

$$I_d = i_{d^*} + i_d$$

ただし、ここで i_{d^*} は d 軸の電流指令値で、 $i_{d^*} = 0$ である。これにより、図5に示すように、モータトルク τ' とモータ回転数 N との関係が実線 A に示すようになり、モータトルク τ' が小さい領域 E におけるモータ回転数 N を高めることができる。また、モータトルク τ' とモータ電流 I との関係は実線 B となる。このように指令トルク τ^* がゼロの状態で、界磁電流成分である補正後の指令電流 I_d が、従来は $I_d = i_{d^*} = 0$ となるが、モータの界磁を弱める所定値 C (< 0) となるように補正後の指令電流 I_d を制御でき、指令トルク τ^* が増加するに従って、この指令電流 I_d がゼロとなるようにできるため、特に、指令トルク τ^* が小さい領域 E におけるモータ M の界磁を弱めることが可能となる。これにより、指令トルク τ^* が小さい領域 E におけるモータ M の回転数 N を従来のモータ制御装置よりも高で

【0023】従って、第1の実施形態によれば、指令トルク τ^* が小さい状態では、界磁電流成分である補正後の指令電流 I_d をモータの界磁を弱める所定値 C (< 0) にすることにより、モータの界磁を弱め、操舵が必

… (2)

*処理（図4）に相当する指令電流補正を実行する。本発明の最も大きな特徴は、後述する様に、このステップ430のより具体的な実現方式にある。

【0018】ステップ435では、図2の制御ブロック203、204に相当する電流偏差演算を次式（3）に従って実行する。

… (3)

※トル制御処理）を終了する条件が成立するか否かの判定を行う。モータ制御装置100の故障等が検知された場合、車両のイグニッションキーがOFF状態になった場合等にこの終了条件が成立する。本終了条件が成り立たない場合には、ステップ410に処理を戻し、ステップ410以下の処理を繰り返して実行する。

【0021】図4に、前述した本第1実施例における d 軸電流補正処理の詳細フローチャートを示す。本 d 軸電流補正処理は、図3のステップ430に示されるサブルーチンとして呼び出されるものである。本 d 軸電流補正処理では、まず最初に、図2の制御ブロック201に相当するステップ510により、 d 軸の補正電流 i_d の値を次式（4）に従って決定する。

… (4)

★【0022】図2の制御ブロック202に相当するステップ520では、次式（5）に従って指令トルク τ^* に応じた補正後の指令電流 I_d を決定する。

… (5)

要になる（指令トルク τ^* が大きくなる）に従って界磁を弱める制御を徐々に解除し、界磁電流成分である補正後の指令電流 $I_d = 0$ とするので、小型のモータを使用しても、急操舵の際に操舵が引っ掛かったような感覚、いわゆる「引っ掛り感」が生じることがない。この実施形態においては、指令トルク τ^* が τ_p のとき、 $i_d = 0$ となるように所定値 C を決定しているが、指令トルク τ^* が最大のときに $i_d = 0$ となるようにしても良い。このようにした場合には、指令トルク τ^* の値がゼロから最大値になる手前まで、補正後の指令電流 I_d が補正されることになる。

【0024】図6に、第2の実施形態における指令電流補正処理のフローチャートを示す。本指令電流補正処理は、図3のステップ430に示されるサブルーチンとして呼び出されるものである。

【0025】本指令電流補正処理では、まず最初に、ステップ610により、指令トルク τ^* が所定値 τ_o よりも大きいか否かを判定し、指令トルク τ^* が所定値 τ_o よりも小さい場合には次のステップ620へ処理を移す。このステップ620では、第1の実施形態の図4の

フローチャートのステップ 510 と同様に、d 軸の補正電流 i_d の値を前記式 (4) に従って決定する。次に、ステップ 630 では、第 1 の実施形態の図 4 のフローチャートのステップ 520 と同様に、前記式 (5) に従って指令トルク τ^* に応じた補正後の d 軸の指令電流 I_d を決定する。

【0026】前記ステップ 610 の判定が、指令トルク τ^* が所定値 τ_0 よりも大きい場合には、 $i_d = 0$ にし、次のステップ 630 へ処理を移し、前記式 (5) に従って指令トルク τ^* に応じた補正後の指令電流 I_d を決定する。これにより、指令トルク τ^* が小さい領域のみで、第 1 の実施形態と同様に、モータの回転数 N を高くすることができる。

【0027】

【発明の効果】以上のように本発明によれば、指令トルクがゼロの状態におけるモータの電機子電流の d 軸成分である d 軸電流が、モータの界磁を弱めるような所定値となるように補正され、モータの界磁を弱める指令トルクがゼロの状態から増加する場合、電機子電流の d 軸成分である d 軸電流がゼロになるように所定値を補正するので、指令トルクが小さい状態（ゼロ付近）におけるモータの回転数を定格電流の大きいモータに交換することなく、モータの回転数を増加させることができ、指令トルクが急激に変化した場合でもモータの応答性を向上できる。また、電機子電流の d 軸成分である d 軸電流がゼロになるように所定値を補正する際、所定値を徐々に補正にするので、指令トルクが大きくなりモータの回転数を高くする必要がない領域においてモータの回転数を滑らかに減少させることができる。また、電機子電流の d 軸成分である d 軸電流がゼロとなるように所定値を補正する際、指令トルクが所定値を超えたときに、ゼロにするようにしたので、指令トルクが大きくなりモータの回転数を高くする必要がない領域ではモータの回転数を直ちに低下させることができる。本発明は、電動パワーステアリング装置に限らず、指令トルクに対してモータを制御する例えば、ロボットのダイレクトティーチングなどに用いられるモータ制御装置にも適用することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明の第 1 及び第 2 の実施形態における電動パワーステアリング装置 80 のハードウェア構成図。

【図 2】本発明の第 1 の実施形態におけるモータ制御装置 100 の制御ブロック・ダイアグラム。

【図 3】本発明の第 1 及び第 2 の実施形態におけるベクトル制御処理のゼネラル・フローチャート。

【図 4】本発明の第 1 の実施形態における d 軸電流補正処理のフローチャート。

10 【図 5】本発明の第 1 の実施形態におけるモータ特性を示すグラフ。

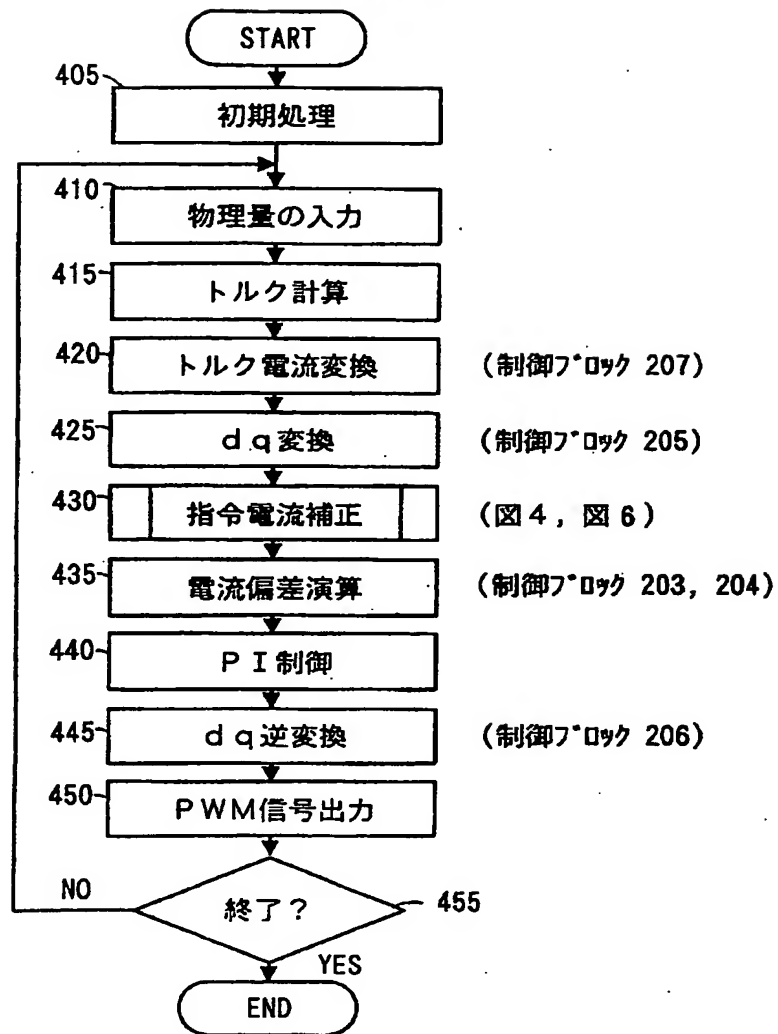
【図 6】本発明の第 2 の実施形態における d 軸電流補正処理のフローチャート。

【図 7】モータの特性を示すグラフ。

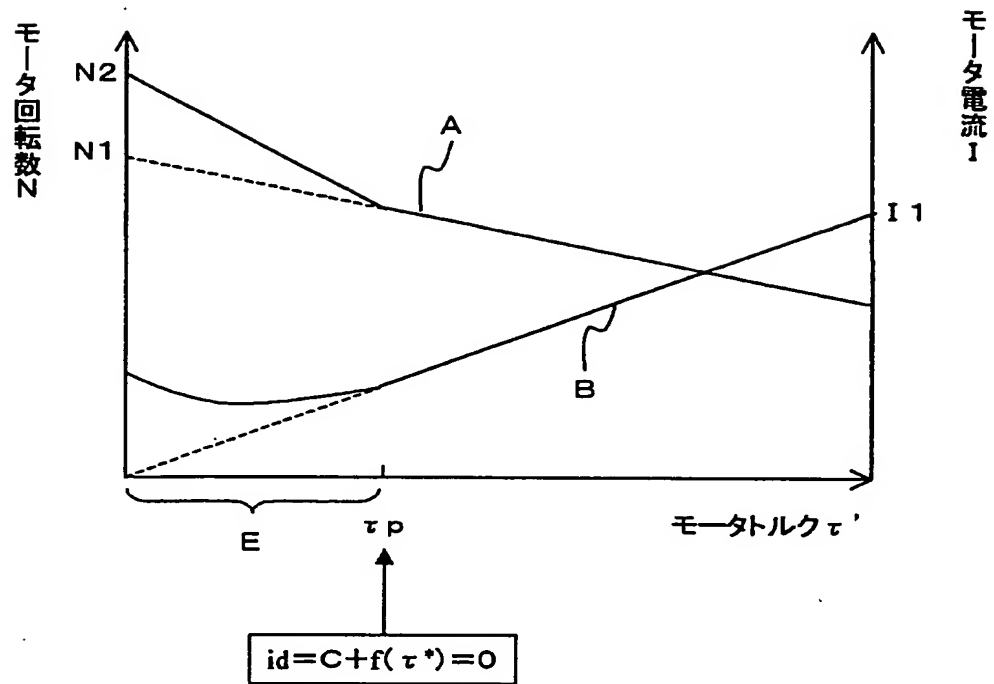
【符号の説明】

M	…	ブラシレス直流モータ
E	…	回転センサ（エンコーダ）
15	…	トルク検出器
100	…	モータ制御装置
113	…	駆動回路
n	…	モータ M のロータの微小回転回数
θ	…	モータ M のロータの回転角
τ	…	操舵トルク
τ^*	…	指令トルク
τ'	…	モータトルク
ϕ	…	操舵角
u	…	車両速度
i_d^*	…	補正前の d 軸の指令電流
i_q^*	…	補正前の q 軸の指令電流
30 i_d	…	d 軸の補正電流
I_d	…	補正後の d 軸の指令電流
i_{df}	…	d 軸の測定電流（フィード・バック電流）
i_{qf}	…	q 軸の測定電流（フィード・バック電流）
ΔI_d	…	d 軸の電流偏差
ΔI_q	…	q 軸の電流偏差
f	…	指令トルク τ^* に応じた d 軸の補正電流 i_d を求める関数

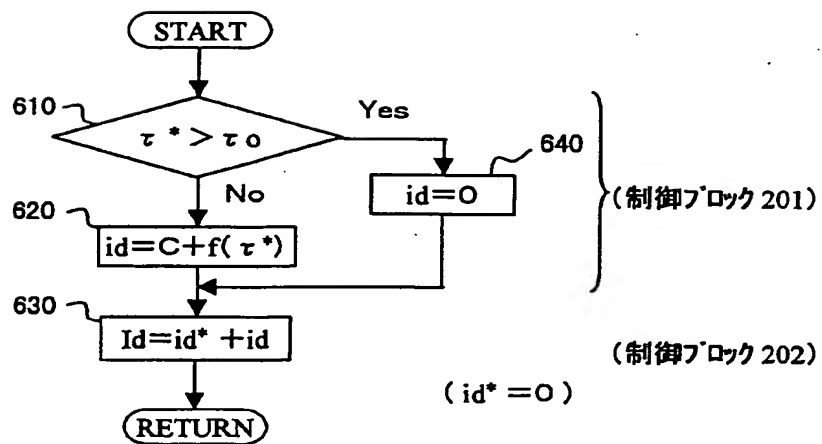
【図 3】



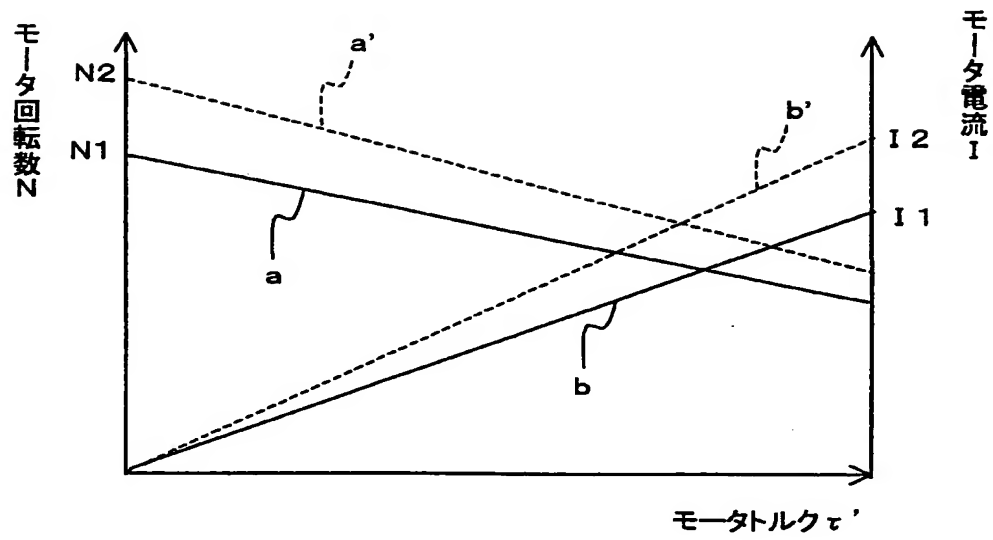
【図 5】



【図 6】



【図 7】



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.